

F5

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2003-98061  
(P2003-98061A)

(43) 公開日 平成15年4月3日 (2003. 4. 3)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 1 N 13/22		G 0 1 N 13/22	A 5 D 0 9 1
	13/10	13/10	B
G 1 1 B 5/02		G 1 1 B 5/02	G
9/14		9/14	Z
			A

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2002-87040 (P2002-87040)  
(22) 出願日 平成14年3月26日 (2002. 3. 26)  
(31) 優先権主張番号 特願2001-220328 (P2001-220328)  
(32) 優先日 平成13年7月19日 (2001. 7. 19)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

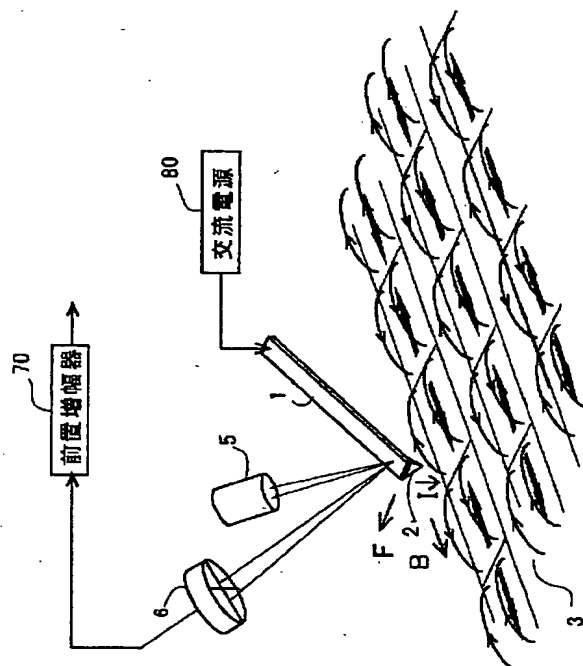
(71) 出願人 899000013  
財団法人 理工学振興会  
東京都目黒区大岡山 2-12-1  
(72) 発明者 真島 豊  
東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業  
大学内  
(74) 代理人 100077849  
弁理士 須山 佐一  
Fターム(参考) 5D091 DD30

(54) 【発明の名称】 走査型ローレンツカプローブ顕微鏡およびこれを用いた情報記録再生装置

(57) 【要約】

【課題】 走査型プローブ顕微鏡およびその応用装置において、磁性体を用いずに試料表面の磁界分布または磁束密度分布を得ることを課題とした。

【解決手段】 試料表面に対向配置され、電流を流すことのできる探針をカンチレバーの自由端に固定し、この探針に交流電流を流し、試料表面の磁束との間にはたらくローレンツ力によるカンチレバーの振動を検出して、試料表面の磁束密度分布を得る。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 試料表面に対向配置され、電流の流れる探針と、

前記探針に電流を流すための電源と、

前記探針に流れる電流と前記試料表面の磁束との間にはたらくローレンツ力を検出するローレンツ力検出手段とを備えたことを特徴とする走査型ローレンツ力プローブ顕微鏡。

【請求項 2】 前記探針は前記試料表面に接触して対向配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の走査型ローレンツ力プローブ顕微鏡。

【請求項 3】 前記探針は前記試料表面に対し非接触を保って対向配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の走査型ローレンツ力プローブ顕微鏡。

【請求項 4】 前記探針がカンチレバーの自由端に固定され、前記カンチレバーには撓み量を検出する光学系が設けられており、前記ローレンツ力検出手段は、前記探針がローレンツ力を受けることによって生じる前記カンチレバーの撓み量を、前記光学系によって検出するものであることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか 1 項記載の走査型ローレンツ力プローブ顕微鏡。

【請求項 5】 前記探針がカンチレバーの自由端に固定され、前記カンチレバーにはビエゾ抵抗体が形成されており、前記ローレンツ力検出手段は、前記探針がローレンツ力を受けることによって生じる前記カンチレバーの撓み量を、前記ビエゾ抵抗体の抵抗変化によって検出するものであることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか 1 項記載の走査型ローレンツ力プローブ顕微鏡。

【請求項 6】 試料表面に対向配置され、交流電流の流れる探針と、

前記探針を一端に固定したカンチレバーと、

前記探針に交流電流を流すための交流電源と、

前記探針に流れる交流電流と前記試料表面の磁束との間にはたらくローレンツ力によるカンチレバーの振動を検出して前記ローレンツ力を検出するローレンツ力検出手段と、

前記探針を前記試料に対して相対的に移動させる移動手段とを備えたことを特徴とする走査型ローレンツ力プローブ顕微鏡。

【請求項 7】 磁気記録媒体と、

前記磁気記録媒体表面に対向配置され、交流電流の流れる探針と、

前記探針を一端に固定したカンチレバーと、

前記探針に交流電流を流すための交流電源と、

前記探針に流れる交流電流と前記試料表面の磁束との間にはたらくローレンツ力によるカンチレバーの振動を検出して前記ローレンツ力を検出するローレンツ力検出手段と、

前記探針を前記磁気記録媒体に対して相対的に移動させる移動手段とを備えたことを特徴とする情報再生装置。

【請求項 8】 磁気記録媒体と、

前記磁気記録媒体に情報信号を記録する磁気記録ヘッドと、

前記磁気記録媒体表面に対向配置され、交流電流の流れる探針と、

前記探針を一端に固定したカンチレバーと、

前記探針に交流電流を流すための交流電源と、

前記探針に流れる交流電流と前記試料表面の磁束との間にはたらくローレンツ力によるカンチレバーの振動を検出して前記ローレンツ力を検出するローレンツ力検出手段と、

前記磁気記録ヘッドと前記探針を前記磁気記録媒体に対して相対的に移動させる移動手段とを備えたことを特徴とする情報記録再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、走査型プローブ顕微鏡およびこれを用いた情報記録再生装置に係り、特に探針と試料表面との間にはたらくローレンツ力を検出する走査型ローレンツ力プローブ顕微鏡およびこれを用いた情報記録再生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】探針を走査して試料表面の情報を nm オーダーまで詳細に観察することのできる走査型の顕微鏡が広く用いられている。探針と試料との間のトンネル電流を検出して表示する顕微鏡が走査型トンネル顕微鏡 (STM) や、探針を走査して試料と表面との間にはたらく力の分布を表示するようにした原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscope, 以下、AFM と略称する) がこれに属するものである。

【0003】AFM は、カンチレバーの先端につけた探針を走査して、探針と試料との間にはたらく力を検出する。AFM において探針が検出する力としては、ファンデルワールス力と、クーロンの法則に従う電気力および磁気力が主なものである。これらの力の試料表面における分布から、試料表面についての詳細な情報を得ることができる。

【0004】AFM の発展したものとして磁気力顕微鏡 (Magnetic Force Magnetometer, 以下、MFM と略称する)

がある。これはアプライド・フィジックス・レターズ (Applied Physics Letters) 誌、1987 年、第 50 巻、第 1455～1457 頁に掲載されている。MFM によれば、磁気力の検出によって磁気記録媒体などの磁性薄膜試料から出る磁界を検出することができることから、磁気記録媒体に高密度に記録された情報信号を再生する手段としても有望なものである。

【0005】MFM においては、探針の先端部を磁性体で構成し、この軟磁性体と磁気記録媒体表面の磁束との間にはたらく力を信号として検出する。これを磁気記録媒体に高密度に記録された情報信号を再生する手段として

用いる場合には、この信号により情報の再生を行う。MF  
Mの探針としては、アプライド・フィジックス・レター  
ズ (Applied Physics Letters) 誌、1988年、第52巻、  
第244～246頁に掲載された磁化した鉄を用いるものを  
はじめ、ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス  
(Journal of Applied Physics) 誌、1991年、第69巻、  
第5883～5885頁に掲載されたNi-FeやCo-PtCrの薄膜を用  
いたものがある。また米国特許第5436448号には、探針  
をコイルで交流磁化して用いることが記載されている。

#### 【0006】

【発明の解決しようとする課題】ところが、このような  
従来のMFMでは、探針に磁性体を磁化したものを用いる  
ので、測定中にこの磁性体と磁気記録媒体に情報記録さ  
れた記録磁化とが影響を及ぼし合っ、例えば探針の磁  
性体の磁化が変動するなどの問題があった。そこで本発  
明者らは探針に磁性体を用いずに試料表面の磁界分布ま  
たは磁束密度分布を得ることを課題として取り上げて研  
究を行い、以下に述べる新たな解決手段を見出すことが  
できた。

#### 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の走査型ローレン  
ツカプローブ顕微鏡は、試料表面に対向配置され、電流  
の流れる探針と、探針に電流を流すための電源と、探針  
に流れる電流と前記試料表面の磁束との間にはたらくロ  
ーレンツ力を検出するローレンツ力検出手段とを備えた  
ことを特徴とする。

【0008】本発明において、探針の先端に流す電流  
は、試料表面の磁束との間にローレンツ力を生じるよう  
に流す。例えば探針と試料との間を電流が流れるように  
すればよく、そのような電流として、トンネル電流、変  
位電流、オーミック電流、ショットキー電流などを用い  
ることができる。

【0009】本発明において、探針と試料とは接触して  
いてもよく、接触していることによって探針と試料との  
間にオーミック電流やショットキー電流などを流すこと  
ができる。これら探針と試料とが接触し、電氣的に接触  
された状態は、非接触の状態よりも探針中に電流を流す  
上で有利であり、より大きいローレンツ力を得ることが  
できるので好ましい。また探針と試料とを接触させる場  
合に、試料表面に導電性があり、探針の先端が導電性で  
あれば、電流がこれらの間を流れやすいので好ましい。  
試料表面の導電性を与える材質としては、金属膜など磁  
性膜、例えば磁気記録を担う磁性体であってもよいし、  
また導電性を有する非磁性膜であってもよい。

【0010】また探針と試料の間を非接触に保ち、これ  
らの間に電流を流す方法としては、加える電圧を時間的  
に変化させることにより、探針と試料との間の電束密度  
Dを時間的に変化させた際に流れる電流であり、電流密  
度が

#### 【数1】

$$i_D = \frac{\partial D}{\partial t}$$

の変位電流を用いることができる。非接触の状態であ  
る電流を用いる方法によれば、探針先端が試料に接して  
いないので、試料との接触によって妨げられることなく  
ローレンツ力に起因した力を感度よく検出する上で好ま  
しい。

【0011】非接触の探針と試料表面との間に電流を流  
すためのもう1つの方法は、探針と試料表面とを十分に  
近接させて、これらの間にトンネル効果による電流すな  
わちトンネル電流を流す方法である。トンネル電流を流  
す場合には、印加電圧を時間的に変化させなくてもトン  
ネル電流を流すことができるが、ローレンツ力が探針に  
交互に加わることによる探針の振動を検出することによ  
り、検出感度を高めることができるので、印加電圧とし  
て交流電圧が好ましい。なお、トンネル電流は探針と試  
料の間の距離に対して指数関数的に変化するもので、探針  
と試料の間の距離を一定に保つフィードバック系を設け  
ておくことが好ましい。

【0012】探針と試料表面とを非接触の状態にしたま  
ま流すことのできる変位電流とトンネル電流を用いる場  
合には、試料表面を導電性にするのが好ましい。すな  
わち変位電流では、試料表面に導電性がある方が電束の  
変化量が大きくなり、またトンネル電流では、試料表面  
に導電性があればトンネル距離が小となるため、試料表  
面が導電性を有することが好ましい。試料表面に導電性  
を付与する材質は、磁気記録を担う磁性体であってもよ  
いし、導電性を有する非磁性膜であってもよい。

【0013】このほかにカンチレバーに往復の電流配線  
を設けて探針に電流を供給し、探針の先端部にて試料面  
と平行な電流成分を持つようにすることによっても、探  
針の電流と試料表面の磁束との間のローレンツ力を働か  
せることができる。

【0014】なお、特開平3-338864号公報には、試料表  
面の磁束密度の測定にローレンツ力を用いる発明が記載  
されている。しかしこの発明は、探針の先端部に電荷e  
を与えて、探針の先端部を速度vで動かしてローレンツ  
力F=e·v×Bを得て、このローレンツ力から磁束を求  
めるものである。従ってこの発明は探針に電流を流し、  
この電流と磁束密度との間にはたらくローレンツ力を検  
出する本発明とは基本的に異なる。

【0015】また本発明の走査型ローレンツカプローブ  
顕微鏡は、試料表面に対向配置され、交流電流の流れる  
探針と、探針を一端に固定したカンチレバーと、探針に  
交流電流を流すための交流電源と、探針に流れる交流電  
流と前記試料表面の磁束との間にはたらくローレンツ力  
によるカンチレバーの振動を検出する試料表面の磁束を  
検出する検出手段と、探針を前記試料に対して相対的に  
移動させる移動手段とを備えることによつて、試料表面  
と探針との間のローレンツ力の分布を検出し、これから

試料表面の磁束密度分布を得ることができる。

【0016】本発明の走査型ローレンツカプローブ顕微鏡において、ローレンツ力を検出する手段は、所要の感度と安定性を有するものであればよく、例えば試料表面のローレンツ力に起因したカンチレバーの撓みを光によって検出する方法、カンチレバーに形成したピエゾ抵抗体の抵抗変化によって検出する方法などを用いることができる。

【0017】即ち、本発明の走査型ローレンツカプローブ顕微鏡においては、探針がカンチレバーの自由端に固定され、カンチレバーには撓み量を検出する光学系が設けられており、ローレンツ力検出手段として、探針がローレンツ力を受けることによって生じるカンチレバーの撓み量を、光学系によって検出するものを用いてもよいし、また同様に探針がカンチレバーの自由端に固定され、カンチレバーにはピエゾ抵抗体が形成されており、ローレンツ力検出手段として探針がローレンツ力を受けることによって生じるカンチレバーの撓み量を、ピエゾ抵抗体の抵抗変化によって検出するものを用いてもよい。

【0018】これらの検出手段の中で、ローレンツ力によるカンチレバーの撓み検出にカンチレバーに形成したピエゾ抵抗体を用いる方法は、光学系を用いる場合に比べ、検出系をコンパクトに形成できるという利点がある。従来の走査型プローブ顕微鏡の場合には、カンチレバーの撓み検出にピエゾ抵抗体を用いることについて、すでに多くの提案がなされており、例えば特開平10-260360号公報には、ピエゾ抵抗体を形成したカンチレバーの製造方法の改良が記載されている。

【0019】本発明におけるローレンツ力の検出には、光を用いることにより高い感度を得ることができる一方で、カンチレバーを用いることにより、コンパクトに構成できるなど、カンチレバーの持つ特徴を生かすことができる。また、ローレンツ力によるカンチレバーの撓みは、ピエゾ抵抗体による検出に適した形を持たせることができる。例えば探針と試料とを接触させた場合には、探針の先端がカンチレバー先端部の支点となり、探針にローレンツ力が働いたときにカンチレバーにはねじりの力が働く。カンチレバーに形成したピエゾ抵抗体の抵抗変化は、カンチレバーが撓むことによって生じ、ローレンツ力によるカンチレバーのねじり撓みは、ピエゾ抵抗体による検出に適しているといえる。

【0020】なお、カンチレバーにピエゾ抵抗体を形成し、試料表面のローレンツ力に起因したカンチレバーの撓みを検出する場合には、ピエゾ抵抗体の電流経路と探針に電流を流す経路とをそれぞれ設けてもよいし、同じ電流経路をピエゾ抵抗体の電流経路と探針に電流を流す経路の双方に用いるようにしてもよい。

【0021】本発明においては、探針に流す電流として交流電流を用いることができ、交流電流の周波数とし

て、カンチレバーの共振モード近傍の周波数を選択して用いることにより、ローレンツ力の検出感度を高めることができる。

【0022】またこの探針に流す電流には交流電流に若干の直流成分を加えることができる。こうすることにより、探針に流す電流の直流電流成分によって探針と磁性体との間の抵抗値が得られ、この抵抗値を用いてひずみ撓み量を規格化することができる。また、探針と磁性体との間の交流電流の実効値を測定し、この交流電流の実効値を用いてひずみ撓み量を規格化してもよい。この規格化により、検出される信号における抵抗値の変動の影響が大幅に低減でき、ローレンツ力による磁束密度の検出の精度や安定度を向上させることができる。

【0023】本発明に用いる探針は、探針を細くし、先端の曲率半径を小さくすることにより、試料表面の磁束検出の分解能を高めることができる。こうして探針の磁束検出の分解能を十分に高めることにより、試料表面の磁化方向の反転をダイバースの形で検出することが可能となる。

【0024】本発明の走査型ローレンツカプローブ顕微鏡に用いられるローレンツ力によって試料表面の磁束を検出するローレンツ力検出手段は、情報再生装置および情報記録再生装置における記録媒体表面の磁束検出に応用することができる。

【0025】即ち、本発明の情報再生装置は、磁気記録媒体と、磁気記録媒体表面に対向配置され、交流電流の流れる探針と、探針を一端に固定したカンチレバーと、探針に交流電流を流すための交流電源と、探針に流れる交流電流と前記試料表面の磁束との間にはたらくローレンツ力によるカンチレバーの振動を検出して前記ローレンツ力を検出するローレンツ力検出手段と、探針を磁気記録媒体に対して相対的に移動させる移動手段とを備えたことを特徴とする。

【0026】また本発明の情報記録再生装置は、磁気記録媒体と、磁気記録媒体に情報信号を記録する磁気記録ヘッドと、磁気記録媒体表面に対向配置され、交流電流の流れる探針と、探針を一端に固定したカンチレバーと、探針に交流電流を流すための交流電源と、探針に流れる交流電流と前記試料表面の磁束との間にはたらくローレンツ力によるカンチレバーの振動を検出してローレンツ力を検出するローレンツ力検出手段と、磁気記録ヘッドと前記探針を前記磁気記録媒体に対して相対的に移動させる移動手段とを備えたことを特徴とする。

【0027】本発明のローレンツ力によって磁束を検出する情報再生装置や情報記録再生装置を用いれば、微細な探針の先端部に流れる電流によって直接に磁気記録媒体表面の磁束を検出することができ、微小な領域の磁束を高い分解能で検出できるので、極めて高密度に記録された情報信号を再生することが可能となる。

【0028】

【発明の実施の形態】（実施の形態1）図1は本発明の走査型ローレンツカプローブ顕微鏡の一実施形態における、探針に流れる電流と試料表面の磁束との間にはたらくローレンツ力の検出部を模式的に示した図である。図1において、試料表面3に記された太い矢印は磁化の方向を模式的に示したものであり、表面から出て表面に戻る矢印のついた曲線は磁束の流れを模式的に示したものである。

【0029】図1において、カンチレバー1の先端に設けられた探針2に電流Iが流れると、試料表面3からの磁束密度Bによって、この電流にはローレンツ力がはたらく、カンチレバー1は力Fを受ける。単位長さ当たりの電流にはたらくローレンツ力Fは電流ベクトルIと磁束密度ベクトルBとの外積 $F = I \times B$ である。そこで探針に電流Iを長さLだけ流すことにより、ベクトル量として探針にはたらくローレンツ力 $L I \times B$ を検出し、ベクトル量としての試料表面の磁束密度Bを求めることができる。

【0030】なお、図1においてカンチレバー1を試料平面に対して傾けているのは、探針に電流を流すためにカンチレバー上を流れる電流をできるだけ試料表面から遠ざけて、その影響を小さくするための処置である。

【0031】図1において、探針2と試料3との間に交流電圧源80を用い交流電圧を印加し、探針2に流れる電流として探針と試料3との間を往復する交流電流が流れるようにした場合には、探針2にはたらくローレンツ力は、電流ベクトルと磁束密度ベクトルとに垂直な横方向の振動をカンチレバー1に与える。半導体レーザ4で発生した光をこのカンチレバー1の上面で反射させ、反射光の位置変化を利用して、カンチレバーの幅方向の振動を4分割フォトダイオード5のC-Dシグナルを用いて横方向の散乱光として検出し、前置増幅器70を経由してこのカンチレバーの幅方向の振動の周波数、振幅、位相などを検出することができる。

【0032】ここに4分割フォトダイオードのC-Dシグナルとは、4分割したフォトダイオードの縦の列の2個のダイオードシグナルの和をCとDとして、その差であるC-Dシグナルをとることを意味する。なお、4分割フォトダイオードでは4分割したフォトダイオードの横の行の2個のダイオードシグナルの和をAとBとして、その差を取ったA-Bシグナルを検出することもできる。このA-Bシグナルは、C-Dシグナルと同時に検出することが可能であり、カンチレバーの縦方向の力であるファンデルワールス力、静電気力などを検出することが可能であり、このA-Bシグナルを一定に保つことにより、探針と試料の距離を一定に保ったり、探針を試料に押し付ける力を一定に保つことができる。

【0033】図2および図3はこのようにしてローレンツ力を4分割フォトダイオード5のC-D信号振幅として測定した結果と、探針の先端を細くしていった場合の

ローレンツ力について計算を行った結果とを、ともに試料面上の水平方向の変化として示した図である。白丸の点C-D信号振幅の測定値、実線はローレンツ力の計算値である。図2および図3に示した測定結果は、探針2を試料表面3に接触させ、交流電源80から交流電流を供給し、探針2にローレンツ力検出のための電流1.0  $\mu$ Aを流すことによって得られたものである。計算についても探針の先端幅を変えた以外は測定の場合と同じ条件とした。

【0034】図2に示した計算結果は試料表面に方形波状の磁束分布を仮定して計算したものであり、また図3は試料表面の磁界について実際に近い理論式

【数2】

$$H_x = \frac{M_r}{\pi \mu_0} \left( \arctan \frac{z_1 + \delta/2 + a}{x_1} - \arctan \frac{z_1 - \delta/2 + a}{x_1} \right)$$

を用いて計算したものである。ただし、 $M_r$ は磁性体内の磁化、 $\mu_0$ は透磁率、 $\delta$ は磁性体の厚さ、 $a$ は磁化反転係数、 $z_1$ は磁性体表面から垂直方向への距離、 $x_1$ は磁化の反転する境界を0とした磁性体表面での距離である。

【0035】このように探針の先端を細くすることにより、磁束検出の分解能を高めることができ、また試料表面の磁化方向の反転をダイパルスとして検出することができる。

【0036】また、このように探針を試料に接触させた状態では、カンチレバーは非接触の状態の共振モードとは異なる共振モードを有する。従って探針と試料とが接触した状態の場合も、共振モードに近い周波数の交流電流を探針に流すことにより、ローレンツ力の検出感度を高めることができる。

【0037】探針と試料とを接触させた状態の共振モードの周波数は、探針を試料に押しつける力の大きさの影響を受けて変化する。このためローレンツ力を検出する交流電流の周波数をこの共振周波数に合わせると、ローレンツ力信号に表面の凹凸信号が重畳する傾向がみられる。そこで交流電流の周波数をこの共振周波数から少しずらすことにより、ローレンツ力信号に表面の凹凸信号が重畳するのを避けることができ、ローレンツ力像と凹凸像とを分離して観察することができた。例えば共振モードの中心周波数が100kHzであり、交流電流の周波数をこの周波数にするとローレンツ力像に凹凸像の一部重畳がみられたのに対し、交流電流の周波数を93.9kHzにした結果、凹凸像の重畳のみられないローレンツ力像を得ることができた。このように共振周波数からずらす交流電流の周波数は、ローレンツ力信号に凹凸信号の重畳が問題にならない程度に共振点からずらし、かつ共振による高感度が保たれる範囲内の周波数を適宜選択することができる。

【0038】（実施の形態2）図4は本発明の走査型ローレンツカプローブ顕微鏡の他の一実施形態における探

針に流れる電流と試料表面の磁束との間にはたらくローレンツ力の検出部を模式的に示した図である。カンチレバーからの振動検出は、図4に示したように光ファイバ光干渉装置を用いることにより、振動検出系の構成を単純化することができる。光ファイバ光干渉装置からのレーザ光は光ファイバによって導かれ、探針2を設けたカンチレバー1の側面に照射され、反射光が再び光ファイバに導かれて光干渉装置61に戻され、カンチレバーでの反射を経ない光との干渉光が光検出器により検波され、電気信号に変換される。なお、図4において、図1と共通のものに対しては同じ符号を用いた。

【0039】探針に流す交流電流の周波数は高いほどS/N比が良好となるので望ましいが、高周波になると電気回路での信号の減衰や遅延が問題となる。そこで光ファイバーを用いる検出方法を用い、カンチレバーに交流電流を流すための交流電圧を加えている回路の近くに光ファイバのもう一つの端を配置し、ここに光検出器を設けることによって、電気回路での信号の減衰や遅延を極力少なくすることができる。

【0040】また交流電圧の周波数はカンチレバーの固有振動数の1つの近傍に合わせておくことにより、共振による振動の拡大や位相の変化を利用して、その検出感度を高めることができる。

【0041】(実施の形態3) 図5は本発明の走査型ローレンツ力プローブ顕微鏡のさらに他の一実施形態における、探針に流れる電流と試料表面の磁束との間にはたらくローレンツ力の検出部を模式的に示した図である。図5では、探針2を試料表面3に接触させ、交流電源80から交流電流を供給することにより、探針2にローレンツ力検出のための電流を流している。探針2が試料表面3に接触しているため、探針2の先端がカンチレバー1の先端部の支点となり、ローレンツ力によってカンチレバー1にはねじり状の力が働く。このカンチレバーのねじり撓みの検出を、カンチレバーの周囲にピエゾ抵抗体7を設け、ローレンツ力をピエゾ抵抗体7の抵抗変化により検出し、前置増幅器70に入力している。

【0042】このように、カンチレバーからのローレンツ力の検出にピエゾ抵抗体を用いることにより、検出系をコンパクトに構成でき、また適切な使用により高い感度を得ることができる。

【0043】(実施の形態4) 図6は本発明の走査型ローレンツ力プローブ顕微鏡のシステム構成の一実施形態を模式的に示した図であって、(A)はそのブロック図と試料部の立面図、(B)は試料部の平面図である。図6において、カンチレバー1の自由端側には探針2が保持され、この探針2は試料3に近接して対向している。

【0044】探針2には、カンチレバー1を介して交流電源80が接続され、探針2と試料3表面との間に交流電圧が与えられている。この交流電圧によって探針2には電流Iが流れ、探針2から試料3表面には変位電流が

流れる。探針に流れるこの交流電流I(長さL)と試料表面からの磁束密度Bとの間には $F = L I \times B$ のローレンツ力がはたらく。電流Iが交流電流であるため、ローレンツ力Fはカンチレバー1に振動を与える。磁束密度Bの向きが図3の(A)および(B)の左右の方向(X方向)であり、探針2に流れる電流Iが試料3表面に垂直な方向(Z方向)であれば、ローレンツ力Fはカンチレバーを幅方向(Y方向)に振動させる。

【0045】探針に加える交流の周波数としては、カンチレバー1の幅方向の振動についてのn次の固有振動( $n \geq 1$ )の近くの周波数が好ましい。カンチレバー1の幅方向の振動は、ファイバ干渉計61によってピックアップされ、前置増幅器70によって増幅された後、ロックイン増幅器71に入力され、交流電源80からの信号を参照信号として選択増幅される。なお、磁束の方向は幅方向振動の位相から読み取ればよい。

【0046】一方、カンチレバー1および探針は、試料表面の凹凸を検出する原子間力顕微鏡を構成し、試料3と探針2との距離を一定に保つように制御している。このため、カンチレバー1の後端の保持部には、加振用の圧電素子5が取り付けられている。この圧電素子5には発振器9からの発振出力信号が供給され、この圧電素子5を通じて、カンチレバー1はその厚さ方向の固有振動に近い周波数で加振される。カンチレバー1の振動は、光ファイバ光干渉装置62によって検出され、前置増幅器8によって増幅された後、ロックイン増幅器10に入力される。

【0047】この原子間力顕微鏡の構成で、例えば探針2が試料3に接近すると、探針2と試料3との間に発生する原子間力により、カンチレバー1が撓み、これにより光ファイバ光干渉装置62の出力が変化し、変化した出力信号が前置増幅器8によって適当な振幅に増幅され、凹凸像観察用のロックイン増幅器10に供給される。このロックイン増幅器10は、入力された光ファイバ光干渉装置からの信号について、発振器9からの出力信号の周波数の周波数成分を選択して増幅した信号を出力する。

【0048】このロックイン増幅器10からの出力信号は誤差増幅器11に送られ、誤差増幅器11にて、この出力と参照電圧Vにより設定された一定電圧、即ち固定振動数とのずれを出力し、この出力がフィルタ12を介してZ圧電素子駆動電源13に送られる。このZ圧電素子駆動電源13は圧電素子4に対し、フィルタ12からの出力信号に基づいて探針2と試料3との間の距離(Z軸方向)を一定に保つフィードバック制御する電圧を供給している。ここに圧電素子4は試料3のX軸(図1の左右方向)、Y軸(図1の紙面に直交する方向)およびZ軸方向(図1の上下方向)の各位置を制御する素子である。フィルタ12はこのようなフィードバック回路を安定に動作させるために設けたものである。このフィル

タ 12 の出力は、試料 3 表面の凹凸像の信号であり、この信号は図示しない画像表示装置に送られる。

【0049】こうした探針 2 と試料 3 との間の距離を一定に保つ制御のもとで、探針 2 と試料 3 の間に交流電圧を与え、カンチレバー 1 の幅方向の振動からローレンツ力を検出し、さらに圧電素子 4 に X、Y 方向の走査信号を与えて試料 3 を 2 次元走査することにより、ローレンツ力 F の分布を得て、さらに所定の L I 値を用い、 $F = L I \times B$  の関係から、磁束密度 B の分布を求めて画像表示装置に表示することができる。試料とカンチレバーとの間の相対的な角度を変えて走査を行うことにより、ベクトル量としての磁束密度 B の分布を得ることができる。

【0050】探針の材料は導電性を有するものであって、トラック幅を狭くする上で半径が小さいものがよい。例えば導電性を有するカーボンナノチューブなどが探針の材料として適している。

【0051】また本発明で用いるカンチレバーは縦方向のばね定数を横方向のばね定数よりも大きくして、探針に交流電圧を加えたときの縦方向の振動を抑制することが好ましい。

【0052】本実施形態では、縦方向と横方向のカンチレバーの撓みの検出に二つの光ファイバ光干渉装置を用いたが、実施の形態 2 と同様に、4 分割フォトダイオードの A-B シグナルと C-D シグナルを用いて撓み量を検出してもよい。また、実施の形態 3 と同様にピエゾ抵抗体の抵抗変化を用いて撓み量を検出してもよい。

【0053】(実施の形態 5) 図 7 は本発明の走査型ローレンツ力プローブ顕微鏡を応用した情報再生装置の一実施形態におけるシステム構成の主要部を模式的に示した図である。図 7 において、カンチレバー 2 は磁気記録媒体である磁気ディスク 30 の回転方向と平行な方向に向けられている。カンチレバー 2 は磁気ディスク 30 の表面に対し傾けた状態で上下方向微動装置 5 に固定されている。また光ファイバ光干渉装置 6 1 は移動アーム 3 4 に固定され、光ファイバ光干渉装置 6 1 とカンチレバー 1 との位置関係が保たれるようになっている。

【0054】交流電源 80 を用いて探針 2 に方形波からなる交流電圧を加えると、探針 2 と磁気ディスク 30 との間に変位電流が流れる。即ち探針 2 と磁気ディスク 30 との間に静電容量を持つため、探針 2 には正と負の電荷が交互に存在するようになり、この交流電圧による電荷の探針への出入により、探針中に電流が流れる。こうして探針に磁気記録媒体である磁気ディスク 30 の面に垂直な方向に電流が流れると、磁気ディスクに平行な磁束密度と探針中に流れる電流とに比例したローレンツ力が、磁気カンチレバーの長手方向とは垂直方向で磁気ディスクとは平行な方向即ち幅方向にはたらく。探針上の電流の流れる向きが反転するとこのローレンツ力は反転するので、探針はこのローレンツ力によって交流電圧の

周波数でディスクの半径方向へ振動することになる。

【0055】まず、この振動を 4 分割フォトダイオードで横方向の散乱光の振動として検出し、デジタルストレージオシロスコープで波形を計測したところ、プローブの入力電圧周波数と同じ周波数で探針は振動し、探針振動の入力電圧に対する位相は試料のカンチレバー方向の長手磁気記録方向が逆になると、反転することが確認された。さらに、入力電圧をリファレンスとして、フォトダイオードによる針の振動の電気信号をロックイン増幅器に入力すると、カンチレバーの長手方向の磁束密度の向きにより、ロックイン増幅器出力が反転することが確認された。

【0056】次に、図 8 に示したように、長手磁気記録方向とは直角の方向にカンチレバーを配置し、カンチレバーの向きと磁束の向きが一致するように配置したところ、電圧印加による探針の幅方向の振動は観察されなかった。この理由は、ローレンツ力が電流と磁束密度方向の外積であることから、上記の実施の形態では、磁気記録媒体の磁束とカンチレバーとのなす角度が、図 1 または図 4 ～ 5 に示された関係を有しているのに対し、この配置の場合には、ローレンツ力は図 8 に示されているように、カンチレバーの長さ方向にはたらくためである。このようにして、探針の電流と磁気記録媒体の磁束との間にはたらくローレンツ力の検出を確認することができた。

【0057】次に正弦波の長手磁気記録が同心円状に記録された磁気ディスクを回転させ、カンチレバーの横振動の位相を検波し、磁気記録に対応した情報を読みとることができた。また、交流電流の周波数をカンチレバーの横振動の共振周波数近傍に設定することで、情報信号の読み取り誤差を減らすことができた。

【0058】次に、上記の 4 分割フォトダイオードに代えて移動アーム 3 4 に固定した光ファイバ光干渉装置 6 1 によって、カンチレバー 1 の幅方向の振動を検出し、前置増幅器 70 を経てロックイン増幅器 71 に入力し、交流電源 80 の信号を参照信号として選択増幅し、この出力を信号処理装置 72 にて信号処理し、磁気記録媒体 30 に記録された情報信号の再生を行い、再生出力を得ることができた。

【0059】なお、以上の実施例では、カンチレバーの横方向振幅の極性変化を検出し、これを信号としたが、光でこの出力信号と強制振動用圧電体に印加している正弦波電圧の位相の差を検出し、これをローレンツ力を検出する信号とすることができる。また、ここでは省略したが、実施の形態 3 で述べたように、探針と試料の間の距離を一定に保つために、非接触原子間力顕微鏡で用いられるフィードバック制御により、探針と試料の間の距離を一定に保つことができる。また、実施の形態 3 と同様にカンチレバーの横方向振幅に起因したピエゾ抵抗体の抵抗変化を用いて撓み量を検出し、これを信号として

用いてもよい。

【0060】本実施形態では、探針に流れる電流を変位電流としたが、この探針を流れる電流は、探針と試料表面が非接触のときに流れるトンネル電流でも良いし、探針と試料表面とが接触した場合に流れる、オーミック電流、ショットキー電流などであってもよい。

【0061】探針と試料が接触した際に流れる電流であるオーミック電流やショットキー電流などをローレンツ力を検出する電流として探針に流す場合には、カンチレバーの先端に位置する探針と試料とが接触した状態とする。探針と試料とが接触した状態では、非接触の状態の共振モードとは異なる複数の共振モードがカンチレバー形状に対応する形で存在する。従って探針と試料とが接触した状態においても、これらの共振モードに近い周波数を持つ交流電流を探針に流すことにより、検出感度を高めることができる。

【0062】すでに述べたように、探針と試料とが接触した状態の共振モードの周波数は、探針を試料に押しつける力の大きさの影響を受け、ローレンツ力を検出する交流電流の周波数をこの共振周波数に合わせると、ローレンツ力信号に表面の凹凸信号が重畳する傾向があることから、交流電流の周波数をこの共振周波数から少しずらすことにより、ローレンツ力信号に表面の凹凸信号の重畳を避けている。

【0063】本実施形態の情報記録再生装置における情報記録については、周知の方法を用いることができる。即ちコイルによって記録情報信号の磁界を発生させ、軟磁性体の探針によってその信号の磁束を集中させることによって磁気記録媒体表面を磁化する方法を用いることができる。

【0064】(実施の形態6) 図9は本発明の一実施形態に用いられるカンチレバー-探針系であつて、カンチレバーから探針に電流を供給し、探針の先端近くに横方向の電流成分を与えるようにしたものを模式的に示した図である。図9に示した探針-カンチレバー系を用い、その他は実施の形態4の図4と同じ磁気記録再生装置の構成により、磁気記録媒体面に対し垂直方向の磁束成分の検出を行なった。

【0065】図9では垂直磁気記録された磁気記録媒体からの磁束の垂直磁束成分検出を模式的に示す。図9に示したように、交流電流を探針の先端21に供給することによって、カンチレバーは幅方向にローレンツ力を受け振動する。このようにして図4のカンチレバー1の幅方向の振動を、移動アーム34に固定した光ファイバ光干渉装置61によって検出し、前置増幅器70を経てロックイン増幅器71に入力し、交流電源80の信号を参照信号として選択増幅し、この出力を信号処理装置72にて信号処理し、磁気記録媒体30の垂直磁束をローレンツ力により検出し、記録された情報信号の再生出力を得た。

【0066】本実施形態では、図9に示したようにカンチレバーの方向が磁気記録媒体のトラック方向に垂直である場合を示したが、カンチレバーの方向がトラック方向と平行である場合にも垂直磁束成分との外積が存在するので、磁気記録信号を再生することが可能である。

【0067】なお、高密度の磁気記録では、垂直磁気記録でなくても垂直磁束成分が増加するので、このようなローレンツ力による磁気記録信号の再生は、高密度磁気記録において特に有用であることがわかる。

【0068】

【発明の効果】

【0069】本発明によりローレンツ力を検出する走査型プローブ顕微鏡によれば、探針の先端に磁性体を用いることなく、試料表面の磁束密度の分布を調べることができる。またこの方法を利用して、超高密度に記録された磁気記録信号を再生することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の走査型ローレンツ力プローブ顕微鏡の一実施形態における4分割フォトダイオードを用いたローレンツ力の検出部を模式的に示した図である。

【図2】 ローレンツ力の試料の水平方向に対する変化の測定結果と、探針の先端を細くしていった場合に検出されるローレンツ力を、方形波状の磁束分布を仮定して計算した結果とを示した図である。

【図3】 ローレンツ力の試料の水平方向に対する変化の測定結果と、探針の先端を細くしていった場合に検出されるローレンツ力を、理論式の波状の磁束分布を仮定して計算した結果とを示した図である。

【図4】 本発明の走査型ローレンツ力プローブ顕微鏡の他の一実施形態における光ファイバ光干渉装置を用いたローレンツ力の検出部を模式的に示した図である。

【図5】 本発明の走査型ローレンツ力プローブ顕微鏡のさらに一実施形態におけるカンチレバーに形成したピエゾ抵抗体を用いたローレンツ力の検出部を模式的に示した図である。

【図6】 本発明の走査型ローレンツ力プローブ顕微鏡のシステム構成の一実施形態を模式的に示す図である。

【図7】 本発明の走査型ローレンツ力プローブ顕微鏡を応用した情報再生装置の一実施形態におけるシステム構成の主要部を模式的に示した図である。

【図8】 カンチレバーの向きと磁束の向きが一致するように配置した場合の図である。

【図9】 本発明の一実施形態に用いられるカンチレバー-探針系であつて、カンチレバーから探針に電流を供給し、探針の先端近くに横方向の電流成分を与えるようにしたものを模式的に示した図である。

【符号の説明】

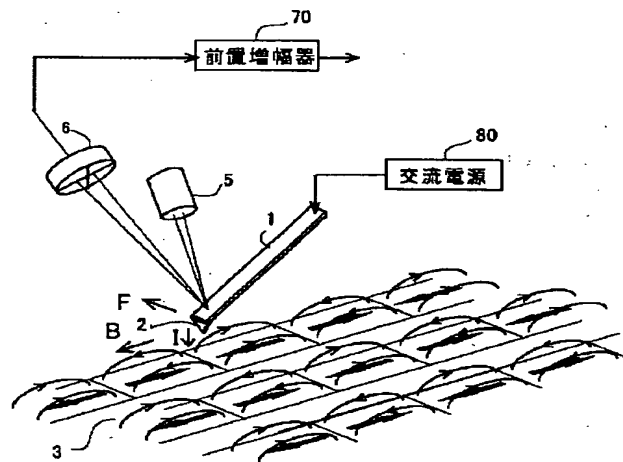
1……カンチレバー、2……探針、3……試料、4……圧電素子、5……半導体レーザ、6……フォトダイオード、7……ピエゾ抵抗体、8……前置増幅器、9……発



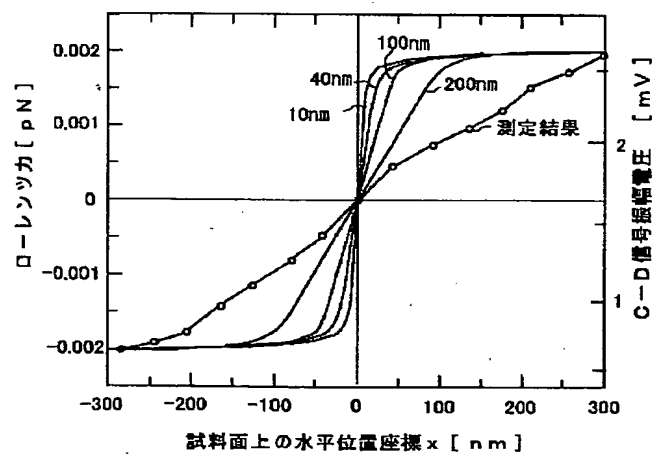
振器、10……ロックイン増幅器、11……誤差増幅器、12……フィルタ、13……Z圧電素子駆動電源、24……電圧源、30……磁気記録媒体、34……移動アーム、41……精密エアスピンドル、42……上下方

向微動装置、61、62……光ファイバ光干渉装置、70……前置増幅器、71……ロックイン増幅器、72……信号処理器、80……交流電源。

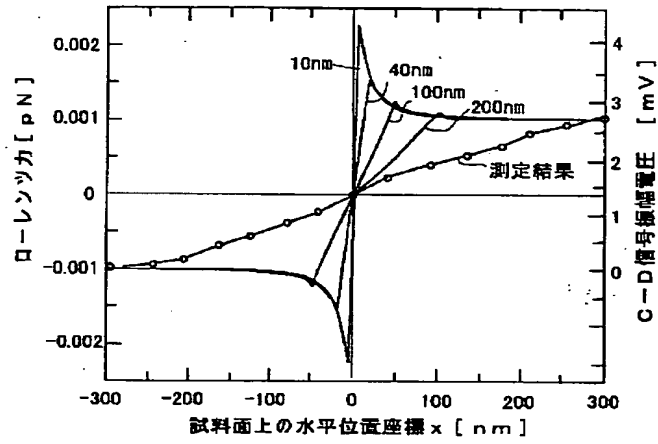
【図1】



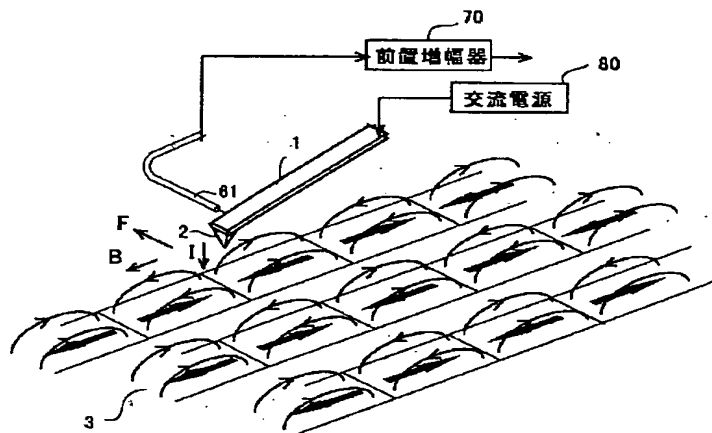
【図2】



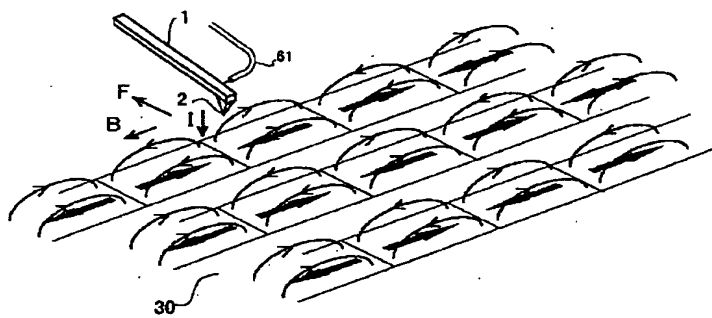
【図3】



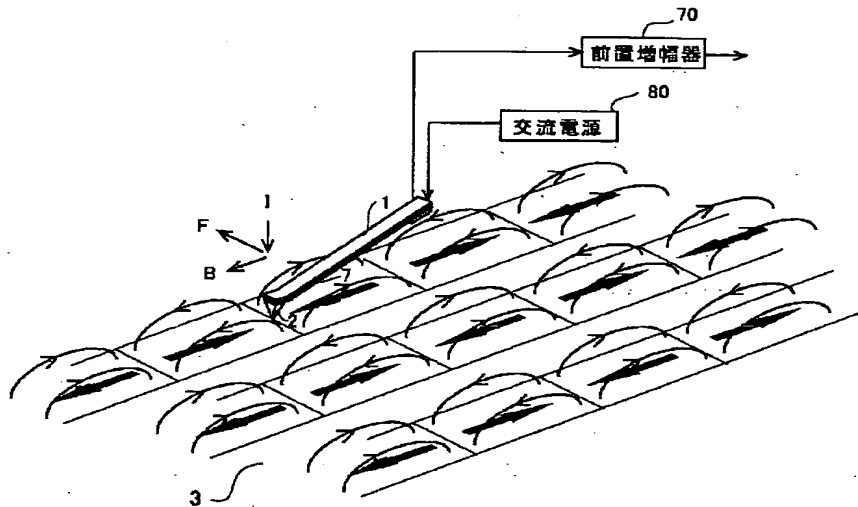
【図4】



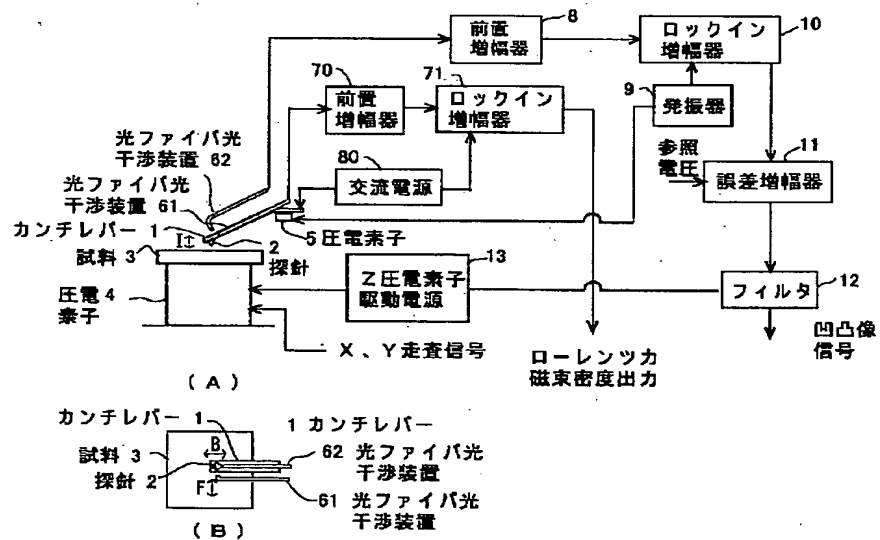
【図8】



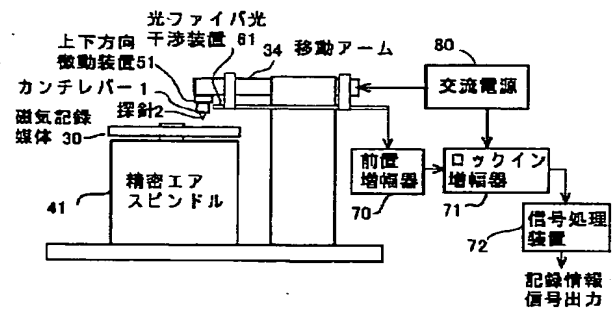
【図5】



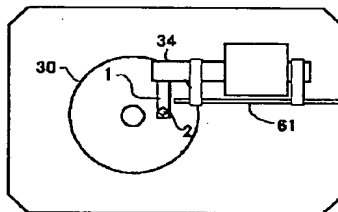
【図6】



【図7】

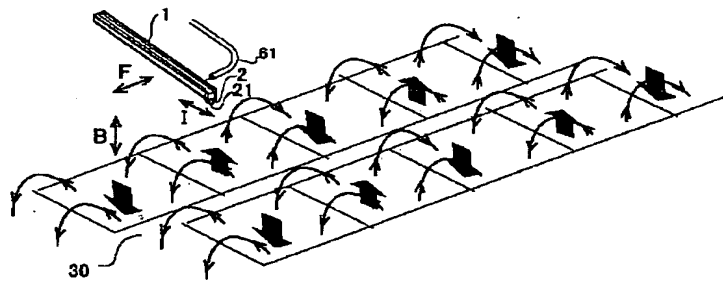


(A)



(B)

【図9】



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-098061

(43)Date of publication of application : 03.04.2003

(51)Int.Cl.

G01N 13/22

G01N 13/10

G11B 5/02

G11B 9/14

(21)Application number : 2002-087040

(71)Applicant : RIKOGAKU SHINKOKAI

(22)Date of filing : 26.03.2002

(72)Inventor : MAJIMA YUTAKA

(30)Priority

Priority number : 2001220328

Priority date : 19.07.2001

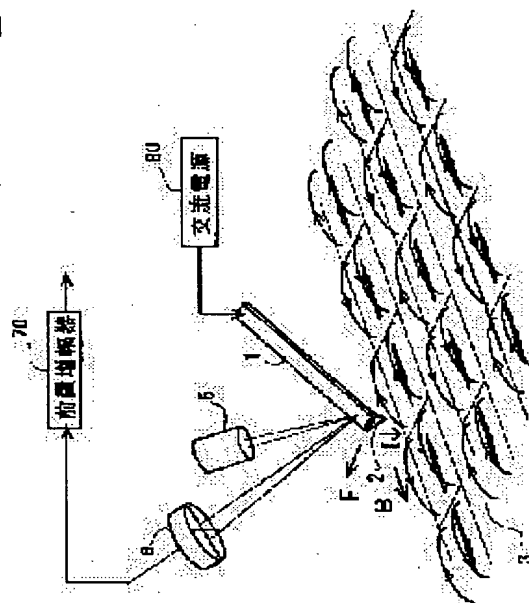
Priority country : JP

## (54) SCANNING LORENTZ FORCE PROBE MICROSCOPE AND INFORMATION RECORDING/REPRODUCING DEVICE USING IT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain the magnetic field distribution or the magnetic flux density distribution of a sample's surface without using magnetic substance in a scanning probe microscope and its application device.

SOLUTION: A probe allowable for a current flow, arranged on the opposite side of the sample's surface, is fixed to the free terminal of a cantilever. The magnetic flux density distribution of the sample's surface is obtained by applying an alternating current to the probe and detecting the oscillation of the cantilever resulted from the Lorentz force acted with the magnetic flux of the sample's surface.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

03.03.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP I are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

**[Claim(s)]**

[Claim 1] The scanning Lorentz force probe microscope which opposite arrangement is carried out on a sample front face, and is characterized by having a Lorentz force detection means to detect the \*\*\*\*\* Lorentz force, between the probe to which a current flows, the power source for passing a current to said probe, and the current which flows to said probe and the magnetic flux on said front face of a sample.

[Claim 2] Said probe is a scanning Lorentz-force probe microscope according to claim 1 characterized by contacting said sample front face and carrying out opposite arrangement.

[Claim 3] Said probe is a scanning Lorentz-force probe microscope according to claim 1 characterized by maintaining non-contact and carrying out opposite arrangement to said sample front face.

[Claim 4] It is the scanning Lorentz force probe microscope of claim 1-3 which the optical system to which it is fixed to the free end of a cantilever, and said probe bends in said cantilever, and detects an amount is established, and is characterized by said Lorentz force detection means being what detects the amount of bending of said cantilever produced when said probe receives the Lorentz force according to said optical system given in any 1 term.

[Claim 5] It is the scanning Lorentz force probe microscope of claim 1-3 which said probe is fixed to the free end of a cantilever, and the piezoresistance object is formed in said cantilever, and is characterized by said Lorentz force detection means being what detects the amount of bending of said cantilever produced when said probe receives the Lorentz force by resistance change of said piezoresistance object given in any 1 term.

[Claim 6] The probe to which opposite arrangement is carried out on a sample front face, and alternating current flows, and the cantilever which fixed said probe to the end, A Lorentz-force detection means to detect vibration of the cantilever by the \*\*\*\*\* Lorentz force between the AC power supply for passing alternating current to said probe, and the alternating current which flows to said probe and the magnetic flux on said front face of a sample, and to detect said Lorentz force, The scanning Lorentz-force probe microscope characterized by having the migration means to which said probe is relatively moved to said sample.

[Claim 7] A magnetic-recording medium and the probe to which opposite arrangement is carried out on said magnetic-recording medium front face, and alternating current flows, The cantilever which fixed said probe to the end, and the AC power supply for passing alternating current to said probe, A Lorentz-force detection means to detect vibration of the cantilever by the \*\*\*\*\* Lorentz force between the alternating current which flows to said probe, and the magnetic flux on said front face of a sample, and to detect said Lorentz force, The information regenerative apparatus characterized by having the migration means to which said probe is relatively moved to said magnetic-recording medium.

[Claim 8] A magnetic-recording medium and the magnetic-recording head which records an information signal on said magnetic-recording medium, The probe to which opposite arrangement is carried out on said magnetic-recording medium front face, and alternating current flows, and the cantilever which fixed said probe to the end, A Lorentz-force detection means to detect vibration of the cantilever by the \*\*\*\*\* Lorentz force between the AC power supply for

passing alternating current to said probe, and the alternating current which flows to said probe and the magnetic flux on said front face of a sample, and to detect said Lorentz force, The information record regenerative apparatus characterized by having the migration means to which said magnetic-recording head and said probe are relatively moved to said magnetic-recording medium.

---

[Translation done.]



**\* NOTICES \***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

**[Detailed Description of the Invention]****[0001]**

**[Field of the Invention]** This invention relates to the information record regenerative apparatus using the scanning Lorentz-force probe microscope and this which start the information record regenerative apparatus which used a scanning probe microscope and this, especially detect a \*\*\*\*\* Lorentz force between a probe and a sample front face.

**[0002]**

**[Description of the Prior Art]** The scanning microscope which can scan a probe and can observe the information on the front face of a sample in a detail to nm order is used widely. The atomic force microscope (it is called AFM for short AtomicForce Microscope and the following) which the microscope which detects and displays the tunnel current between a probe and a sample scans a scanning tunneling microscope (STM) and a probe, and displayed distribution of \*\*\*\*\* between the sample and the front face belongs to this.

**[0003]** AFM scans the probe attached at the tip of a cantilever, and detects \*\*\*\*\* between a probe and a sample. As force which a probe detects in AFM, Van der Waals force, and the electric force and the magnetic force according to Coulomb's law are main. The detailed information about a sample front face can be acquired from the distribution in the sample front face of these force.

**[0004]** A magnetic force microscope (it is called MFM for short Magnetic Force Magnetometer and the following) is one of those into which AFM developed. This is carried on the 50th volume and the 1455-1457th page in applied physics Letters (Applied Physics Letters) and 1987. According to the MFM, since the field which comes out of magnetic-thin-film samples, such as a magnetic-recording medium, by detection of magnetic force is detectable, it is promising also as a means to reproduce the information signal recorded on the magnetic-recording medium by high density.

**[0005]** In MFM, the point of a probe is constituted from the magnetic substance and \*\*\*\*\* is detected as a signal between this soft magnetic material and the magnetic flux of a magnetic-recording medium front face. In using as a means to reproduce the information signal recorded on the magnetic-recording medium by high density in this, it reproduces information with this signal. As a probe of MFM, the thing using the 52nd volume and the magnetized iron carried on the 244-246th page is begun, and there will be a thing using the thin film of the 69th volume, nickel-Fe carried on the 5883-5885th page, or Co-PtCr in a journal OBU applied physics (Journal of Applied Physics) magazine and 1991 in applied physics Letters (Applied Physics Letters) and 1988. Moreover, carrying out alternating current magnetization of the probe to U.S. Pat. No. 5436448, and using it for it with a coil, is indicated.

**[0006]**

**[Problem(s) to be Solved by the Invention]** However, in such a conventional MFM, since what magnetized the magnetic substance was used for the probe, the record magnetization by which information record was carried out affected this magnetic substance and a magnetic-recording medium mutually during measurement, for example, there was a problem of changing magnetization of the magnetic substance of a probe. Then, this invention persons were able to

inquire by the ability having taken up acquiring the field distribution or flux density distribution on the front face of a sample, without using the magnetic substance for a probe as a technical problem, and were able to find out the new solution means expressed below.

[0007]

[Means for Solving the Problem] Opposite arrangement is carried out on a sample front face, and the scanning Lorentz-force probe microscope of this invention is characterized by having a Lorentz-force detection means to detect a \*\*\*\*\* Lorentz force between the probe to which a current flows, the power source for passing a current to a probe, and the current which flows to a probe and the magnetic flux on said front face of a sample.

[0008] In this invention, the current passed at the tip of a probe is passed so that the Lorentz force may be produced between the magnetic flux on the front face of a sample. For example, tunnel current, the displacement current, an ohmic current, a shot key current, etc. can be used as such a current that what is necessary is just to make between a probe and samples a current flow.

[0009] In this invention, the probe and the sample may touch and can pass an ohmic current, a shot key current, etc. between a probe and a sample by being in contact. The condition of these probes and a sample having contacted and having been contacted electrically is advantageous when passing a current in a probe rather than a non-contact condition, and since it can acquire the larger Lorentz force, it is desirable. Moreover, when contacting a probe and a sample, if the tip of a probe is conductivity, since conductivity is shown in a sample front face, and a current will tend to flow between these, it is desirable. As the quality of the material which gives the conductivity on the front face of a sample, \*\*\*\*\* may also be good at magnetic films, for example, the magnetic substance which bears magnetic recording, such as a metal membrane, and you may be the nonmagnetic membrane which has conductivity.

[0010] Moreover, by maintaining between a probe and samples at non-contact, and changing the electrical potential difference to apply in time as an approach of passing a current among these, it is the current which flows when changing the electric flux density  $D$  between a probe and a sample in time, and current density is [Equation 1].

$$i_p = \frac{\partial D}{\partial t}$$

At least \*\*\*\* can use a current. According to the approach using the current which flows in the non-contact condition, since the probe tip is not in contact with a sample, it is desirable when detecting the force resulting from the Lorentz force with sufficient sensibility, without being barred by contact in a sample.

[0011] One approach that I accept it in order to pass a current between a non-contact probe and a sample front face is an approach of making a probe and a sample front face fully approaching, and passing among these, the current, i.e., the tunnel current, by the tunnel effect. When passing tunnel current, even if it does not change applied voltage in time, tunnel current can be passed, but since detection sensitivity can be raised by detecting vibration of the probe by the Lorentz force joining a probe by turns, alternating voltage is desirable as applied voltage. In addition, since tunnel current changes exponentially to the distance between a probe and a sample, it is desirable to establish the feedback system which keeps the distance between a probe and a sample constant.

[0012] When using the displacement current and tunnel current which can be passed changing a probe and a sample front face into a non-contact condition, it is desirable to make a sample front face into conductivity. That is, since the variation of electric flux becomes [ the direction which has conductivity in a sample front face ] large in the displacement current, and tunnel distance will serve as smallness in tunnel current if conductivity is shown in a sample front face, it is desirable that a sample front face has conductivity. The quality of the material which gives conductivity to a sample front face may be the magnetic substance which bears magnetic recording, and may be a nonmagnetic membrane which has conductivity.

[0013] In addition, the Lorentz force between the current of a probe and the magnetic flux on the front face of a sample can be used also by preparing current wiring of a round trip, supplying

a current to a probe, and having a current component parallel to a sample side in a cantilever in the point of a probe.

[0014] In addition, invention which uses the Lorentz force for measurement of the flux density on the front face of a sample is indicated by JP,3-338864,A. However, this invention gives Charge  $e$  to the point of a probe, moves the point of a probe at a rate  $nu$ , obtains Lorentz force  $F=e \nu x B$ , and searches for magnetic flux from this Lorentz force. Therefore, in this invention, a sink differs a current from this invention which detects the \*\*\*\*\* Lorentz force between this current and flux density fundamentally in a probe.

[0015] Moreover, the scanning Lorentz-force probe microscope of this invention The probe to which opposite arrangement is carried out on a sample front face, and alternating current flows, and the cantilever which fixed the probe to the end, A detection means to detect the magnetic flux on the front face of a sample which detects vibration of the cantilever by the \*\*\*\*\* Lorentz force between the AC power supply for passing alternating current to a probe, and the alternating current which flows to a probe and the magnetic flux on said front face of a sample, By having the migration means to which a probe is relatively moved to said sample, distribution of the Lorentz force between a sample front face and a probe can be detected, and the flux density distribution on the front face of a sample can be acquired after this.

[0016] In the scanning Lorentz-force probe microscope of this invention, the approach light detects bending of the cantilever resulting from the Lorentz force on the front face of a sample, the approach of detecting by resistance change of the piezoresistance object which formed in the cantilever, etc. can be used for a means to detect a Lorentz force that what is necessary is just what has necessary sensibility and stability.

[0017] Namely, it sets in the scanning Lorentz-force probe microscope of this invention. The optical system to which it is fixed to the free end of a cantilever, and a probe bends in a cantilever, and detects an amount is established. As a Lorentz force detection means The amount of bending of the cantilever produced when a probe receives a Lorentz force May use what is detected according to optical system, and a probe is similarly fixed to the free end of a cantilever. The piezoresistance object is formed in the cantilever and what detects the amount of bending of the cantilever produced when a probe receives a Lorentz force as a Lorentz-force detection means by resistance change of a piezoresistance object may be used.

[0018] The approach using the piezoresistance object formed in the cantilever in these detection means at bending detection of the cantilever by the Lorentz force has the advantage that a detection system can be formed in a compact, compared with the case where optical system is used. In the case of the conventional scanning probe microscope, amelioration of the manufacture approach of the cantilever which many proposals are already made, for example, formed the piezoresistance object in JP,10-260360,A is indicated about using a piezoresistance object for bending detection of a cantilever.

[0019] While high sensibility can be obtained by using light, the description which a cantilever has can be efficiently employed in detection of the Lorentz force in this invention by using a cantilever — it can constitute in a compact. Moreover, bending of the cantilever by the Lorentz force can give the form of having been suitable for detection with a piezoresistance object. For example, when a probe and a sample are contacted, the tip of a probe serves as the supporting point of a cantilever point, and when a Lorentz force works to a probe, the force of torsion works to a cantilever. Resistance change of the piezoresistance object formed in the cantilever is produced when a cantilever bends, and it can be said that torsion bending of the cantilever by the Lorentz force is suitable for detection with a piezoresistance object.

[0020] In addition, a piezoresistance object is formed in a cantilever, and when detecting bending of the cantilever resulting from the Lorentz force on the front face of a sample, the current path of a piezoresistance object and the path which passes a current to a probe may be established, respectively, and you may make it use the same current path for the both sides of the current path of a piezoresistance object, and the path which passes a current to a probe.

[0021] In this invention, alternating current can be used as a current passed to a probe, and the detection sensitivity of the Lorentz force can be raised by choosing and using the frequency near the resonance mode of a cantilever as a frequency of alternating current.

[0022] Moreover, some dc component can be added to the current passed to this probe at alternating current. By carrying out like this, by the direct-current component of the current passed to a probe, the resistance between a probe and the magnetic substance is acquired and the amount of strain bending can be standardized using this resistance. Moreover, the actual value of the alternating current between a probe and the magnetic substance may be measured, and the amount of strain bending may be standardized using the actual value of this alternating current. By this standardization, the effect of fluctuation of the resistance in the signal detected can decrease sharply, and can raise the precision and stability of detection of flux density by the Lorentz force.

[0023] The probe used for this invention can raise the resolution of the magnetic-flux detection on the front face of a sample by making a probe thin and making the radius of curvature at a tip small. In this way, by fully raising the resolution of magnetic-flux detection of a probe, it becomes possible to detect reversal of the magnetization direction on the front face of a sample in the form of a dipulse.

[0024] A Lorentz-force detection means by which the Lorentz force used for the scanning Lorentz-force probe microscope of this invention detects the magnetic flux on the front face of a sample is applicable to the magnetic-flux detection on the front face of a record medium in an information regenerative apparatus and an information record regenerative apparatus.

[0025] Namely, the probe to which opposite arrangement of the information regenerative apparatus of this invention is carried out on a magnetic-recording medium and a magnetic-recording medium front face, and alternating current flows, The cantilever which fixed the probe to the end, and the AC power supply for passing alternating current to a probe, It is characterized by having a Lorentz-force detection means to detect vibration of the cantilever by the \*\*\*\*\* Lorentz force between the alternating current which flows to a probe, and the magnetic flux on said front face of a sample, and to detect said Lorentz force, and the migration means to which a probe is relatively moved to a magnetic-recording medium.

[0026] Moreover, the magnetic-recording head with which the information record regenerative apparatus of this invention records an information signal on a magnetic-recording medium and a magnetic-recording medium, The probe to which opposite arrangement is carried out on a magnetic-recording medium front face, and alternating current flows, and the cantilever which fixed the probe to the end, A Lorentz-force detection means to detect vibration of the cantilever by the \*\*\*\*\* Lorentz force between the AC power supply for passing alternating current to a probe, and the alternating current which flows to a probe and the magnetic flux on said front face of a sample, and to detect a Lorentz force, It is characterized by having a magnetic-recording head and the migration means to which said probe is relatively moved to said magnetic-recording medium.

[0027] If the information regenerative apparatus and information record regenerative apparatus which detect magnetic flux according to the Lorentz force of this invention are used, since the magnetic flux of a magnetic-recording medium front face can be detected directly and the magnetic flux of a minute field can be detected with high resolution according to the current which flows to the point of a detailed probe, it becomes possible to reproduce the information signal extremely recorded on high density.

[0028]

[Embodiment of the Invention] (Gestalt 1 of operation) Drawing 1 is drawing having shown the detecting element of a \*\*\*\*\* Lorentz force typically between the currents which flow to a probe and the magnetic flux on the front face of a sample in 1 operation gestalt of the scanning Lorentz-force probe microscope of this invention. In drawing 1 R> 1, the curve which the arrow head which the thick arrow head described on the sample front face 3 shows the direction of magnetization typically, comes out from a front face, and returns to a front face attached shows the flow of magnetic flux typically.

[0029] In drawing 1, if Current I flows to the probe 2 prepared at the tip of a cantilever 1, as for \*\*\*\*\* and a cantilever 1, a Lorentz force will receive Force F in this current with the flux density B from the sample front face 3. the current per unit length — \*\*\*\*\* Lorentz-force F — the outer product of current phasor I and the flux density vector B — it is  $F=I \times B$ . Then, when

only die-length L passes Current I to a probe, to a probe, \*\*\*\*\* Lorentz-force  $L \times B$  can be detected as vector quantity, and it can ask for the flux density B on the front face of a sample as vector quantity.

[0030] In addition, in drawing 1, the treatment for keeping away the current which flows a cantilever top from a sample front face as much as possible, in order to pass a current to a probe, and making the effect small is leaning the cantilever 1 to a sample flat surface.

[0031] In drawing 1, the source 80 of alternating voltage is used between a probe 2 and a sample 3, alternating voltage is impressed, and when it is made for the alternating current which goes back and forth between a probe and samples 3 as a current which flows to a probe 2 to flow, a \*\*\*\*\* Lorentz force gives vibration of a longitudinal direction perpendicular to a current phasor and a flux density vector to a cantilever 1 at a probe 2. The light generated in semiconductor laser 4 can be reflected on the top face of this cantilever 1, vibration of the cross direction of a cantilever can be detected as the lateral scattered light using the C-D signal of the quadrisection photodiode 5 using location change of the reflected light, and the frequency of vibration of the cross direction of this cantilever, the amplitude, a phase, etc. can be detected via a preamp 70.

[0032] The C-D signal of a quadrisection photodiode means taking the C-D signal which is the difference considering the sum of two diode signals of the train of the length of the quadrisectioned photodiode as C and D here. In addition, in a quadrisection photodiode, the A-B signal which took the difference for the sum of two diode signals of the line beside the quadrisectioned photodiode as A and B is also detectable. This A-B signal can be detected to a C-D signal and coincidence, can detect the Van der Waals force which is force of the lengthwise direction of a cantilever, electrostatic force, etc., by keeping this A-B signal constant, can keep the distance of a probe and a sample constant, or can keep constant the force which forces a probe on a sample.

[0033] Drawing 2 and drawing 3 are drawings having shown the result of having done in this way and having measured the Lorentz force as C-D signal amplitude of the quadrisection photodiode 5, and the result of having calculated about the Lorentz force at the time of making the tip of a probe thin, as a horizontal change on [ both ] a sample side. The measured value of the point C-D signal amplitude of a white round head and a continuous line are the calculated value of the Lorentz force. The measurement result shown in drawing 2 and drawing 3 contacts a probe 2 on the sample front face 3, supplies alternating current from AC power supply 80, and is obtained by passing 1.0micro of currents A for Lorentz force detection to a probe 2. It considered as the same conditions as the case of measurement except having changed the tip width of face of a probe also about count.

[0034] The count result shown in drawing 2 assumes and calculates square wave-like distribution [ magnetic-flux ] on a sample front face, and drawing 3 is a theoretical formula [several 2] actually near about the field on the front face of a sample.

$$H_x = \frac{M_r}{\pi \mu_0} \left( \arctan \frac{z_1 + \delta/2 + a}{x_1} - \arctan \frac{z_1 - \delta/2 + a}{x_1} \right)$$

\*\*\*\*\* count is carried out. However,  $M_r(s)$  are the magnetization in the magnetic substance, and the distance on the front face of the magnetic substance on which  $\mu_0$  set to 0 the boundary where the thickness of the magnetic substance and a carry out permeability and delta, and a flux reversal multiplier and  $z_1$  carry out the magnetic reversal of the distance from a magnetic-substance front face to a perpendicular direction, and  $x_1$ .

[0035] Thus, by making the tip of a probe thin shows that the resolution of magnetic-flux detection can be raised and reversal of the magnetization direction on the front face of a sample can be detected as a dipulse.

[0036] Moreover, where a probe is contacted in a sample in this way, a cantilever has different resonance mode from the resonance mode of a non-contact condition. Therefore, also when it is in the condition which the probe and the sample contacted, the detection sensitivity of the Lorentz force can be raised by passing the alternating current of the frequency near resonance mode to a probe.

[0037] The frequency of the resonance mode in the condition of having contacted the probe and the sample changes in response to the effect of the magnitude of the force which forces a probe on a sample. For this reason, if the frequency of the alternating current which detects the Lorentz force is doubled with this resonance frequency, the inclination which a surface concavo-convex signal superimposes on a Lorentz force signal will be seen. Then, by shifting the frequency of alternating current a little from this resonance frequency, it could avoid that a surface concavo-convex signal was overlapped on a Lorentz force signal, and the Lorentz force image and the concavo-convex image were able to be separated and observed. For example, the center frequency of resonance mode was 100kHz, and when the frequency of alternating current was made into this frequency, as a result of making the frequency of alternating current a Lorentz force image to superposition having been found [ of the concavo-convex image ] in part at 93.9kHz, the Lorentz force image with which superposition of a concavo-convex image is not found was able to be obtained. Thus, the frequency of the alternating current shifted from resonance frequency can choose suitably the frequency within the limits at which it shifts from the resonance point to extent from which superposition of a concavo-convex signal does not become a problem to a Lorentz force signal, and the high sensitivity by resonance is maintained.

[0038] (Gestalt 2 of operation) Drawing 4 is drawing having shown the detecting element of a \*\*\*\*\* Lorentz force typically between the current which flows to the probe in other 1 operation gestalten of the scanning Lorentz-force probe microscope of this invention, and the magnetic flux on the front face of a sample. The oscillating detection from a cantilever can simplify the configuration of an oscillating detection system by using optical fiber light interference equipment, as shown in drawing 4. It is led with an optical fiber, the side face of a cantilever 1 in which the probe 2 was formed irradiates, the reflected light is again led to an optical fiber, and the laser beam from optical fiber light interference equipment is returned to optical interference equipment 61, and an interference light with the light which has not passed through reflection by the cantilever is detected by the photodetector, and it is changed into an electrical signal. In addition, in drawing 4, the same sign was used to drawing 1 R> 1 and a common thing.

[0039] Since an SN ratio becomes good so that it is high, the frequency of the alternating current passed to a probe is desirable, but if it becomes a RF, attenuation and delay in an electrical circuit of a signal will pose a problem. Then, attenuation and delay in an electrical circuit of a signal can be lessened as much as possible by arranging another edge of an optical fiber using the detection approach using an optical fiber near the circuit which is applying the alternating voltage for passing alternating current to a cantilever, and forming a photodetector here.

[0040] Moreover, by doubling near [ one ] the resonant frequency of a cantilever, the frequency of alternating voltage can raise the detection sensitivity using the expansion of vibration and the change of a phase by resonance.

[0041] (Gestalt 3 of operation) Drawing 5 is drawing having shown the detecting element of a \*\*\*\*\* Lorentz force typically between the currents which flow to a probe and the magnetic flux on the front face of a sample in 1 operation gestalt of further others of the scanning Lorentz-force probe microscope of this invention. In drawing 5, the current for Lorentz force detection is passed to the probe 2 by contacting a probe 2 on the sample front face 3, and supplying alternating current from AC power supply 80. Since the probe 2 touches the sample front face 3, the tip of a probe 2 serves as the supporting point of the point of a cantilever 1, and the torsion-like force works to a cantilever 1 according to a Lorentz force. The piezoresistance object 7 was formed for detection of torsion bending of this cantilever in the perimeter of a cantilever, resistance change of the piezoresistance object 7 detected the Lorentz force, and it has inputted into the preamp 70.

[0042] Thus, by using a piezoresistance object for detection of the Lorentz force from a cantilever, a detection system can be constituted in a compact and high sensibility can be obtained by suitable use.

[0043] (Gestalt 4 of operation) Drawing 6 is drawing having shown typically 1 operation gestalt of the system configuration of the scanning Lorentz-force probe microscope of this invention, (A)

is the block diagram and elevation of the sample section, and (B) is the top view of the sample section. In drawing 6 R> 6, the probe 2 was held at free one end of a cantilever 1, and this probe 2 has approached and countered the sample 3.

[0044] AC power supply 80 is connected to a probe 2 through a cantilever 1, and alternating voltage is given between the probe 2 and sample 3 front face. With this alternating voltage, Current  $I$  flows to a probe 2 and the displacement current flows in sample 3 front face from a probe 2. Between this alternating current  $I$  (die-length  $L$ ) that flows to a probe, and the flux density  $B$  from a sample front face, the Lorentz force of  $F=LI \times B$  is \*\*\*\*\*. Since Current  $I$  is alternating current, Lorentz-force  $F$  gives vibration to a cantilever 1. If the sense of flux density  $B$  is the direction of right and left of drawing 3 of (A) and (B) (the direction of  $X$ ) and the current  $I$  which flows to a probe 2 is a direction ( $Z$  direction) perpendicular to sample 3 front face, Lorentz-force  $F$  will vibrate a cantilever crosswise (the direction of  $Y$ ).

[0045] As a frequency of the alternating current added to a probe, the frequency near the  $n$ -th proper oscillation ( $n \geq 1$ ) about vibration of the cross direction of a cantilever 1 is desirable. After being taken up by the fiber interferometer 61 and amplified with a preamp 70, vibration of the cross direction of a cantilever 1 is inputted into a lock-in amplifier 71, it makes a reference sign the signal from AC power supply 80, and selection magnification is carried out. In addition, what is necessary is just to read the direction of magnetic flux in the phase of a crosswise vibration.

[0046] On the other hand, a cantilever 1 and a probe constitute the atomic force microscope which detects the irregularity on the front face of a sample, and are controlling it to keep the distance of a sample 3 and a probe 2 constant. For this reason, the piezoelectric device 5 for excitation is attached in the attaching part of the back end of a cantilever 1. The oscillation output signal from an oscillator 9 is supplied to this piezoelectric device 5, and excitation of the cantilever 1 is carried out on the frequency near the proper oscillation of that thickness direction through this piezoelectric device 5. After vibration of a cantilever 1 is detected by optical fiber light interference equipment 62 and amplified with a preamp 8, it is inputted into a lock-in amplifier 10.

[0047] It is the configuration of this atomic force microscope, for example, a cantilever 1 bends according to the force between atoms which will be generated between a probe 2 and a sample 3 if a probe 2 approaches a sample 3, thereby, the output signal which the output of optical fiber light interference equipment 62 changed, and changed is amplified by the suitable amplitude with a preamp 8, and the lock-in amplifier 10 for concavo-convex image observation is supplied. This lock-in amplifier 10 outputs the signal which chose and amplified the frequency component of the frequency of the output signal from an oscillator 9 about the signal from the inputted optical fiber light interference equipment.

[0048] The output signal from this lock-in amplifier 10 is sent to the error amplifier 11, with the error amplifier 11, the gap with the fixed electrical potential difference set up with this output and reference voltage  $V$ , i.e., fixed vibration frequency, is outputted, and this output is sent to  $Z$  piezoelectric-device drive power source 13 through a filter 12. This  $Z$  piezoelectric-device drive power source 13 supplies the electrical potential difference which keeps constant the distance between a probe 2 and a sample 3 ( $Z$  shaft orientations) based on the output signal from a filter 12 and which carries out feedback control to a piezoelectric device 4. It is the component by which a piezoelectric device 4 controls each location of the  $X$ -axis (longitudinal direction of drawing 1) of a sample 3, a  $Y$ -axis (direction which intersects perpendicularly with the space of drawing 1), and  $Z$  shaft orientations (the vertical direction of drawing 1) here. A filter 12 is formed in order to operate such a feedback circuit to stability. The output of this filter 12 is the signal of the concavo-convex image of sample 3 front face, and this signal is sent to the image display device which is not illustrated.

[0049] Under the control which keeps constant the distance between such probes 2 and samples 3, alternating voltage is given between a probe 2 and a sample 3. By detecting the Lorentz force from vibration of the cross direction of a cantilever 1, giving the scan signal of  $X$  and the direction of  $Y$  further to a piezoelectric device 4, and carrying out the two-dimensional scan of the sample 3 Distribution of Lorentz force  $F$  can be acquired and it can display on an image

display device in quest of distribution of flux density  $B$  from the relation of  $F=LI \times B$  using further predetermined  $LI$  value. By scanning by changing the relative include angle between a sample and a cantilever, distribution of the flux density  $B$  as vector quantity can be acquired.

[0050] When it has conductivity and the width of recording track is narrowed, as for the ingredient of a probe, what has a small radius is good. For example, the carbon nanotube which has conductivity is suitable as an ingredient of a probe.

[0051] Moreover, as for the cantilever used by this invention, it is desirable to make the spring constant of a lengthwise direction larger than a lateral spring constant, and to control vibration of the lengthwise direction when applying alternating voltage to a probe.

[0052] Although two optical-fiber light interference equipments were used for detection of bending of the cantilever of a lengthwise direction and a longitudinal direction, like the gestalt 2 of operation, it is bent by this operation gestalt using the A-B signal of a quadrisection photodiode, and a C-D signal, and an amount may be detected with it. Moreover, it bends using resistance change of a piezoresistance object like the gestalt 3 of operation, and an amount may be detected.

[0053] (Gestalt 5 of operation) Drawing 7 is drawing having shown typically the principal part of the system configuration in 1 operation gestalt of the information regenerative apparatus adapting the scanning Lorentz-force probe microscope of this invention. In drawing 7, the cantilever 2 is turned in the direction parallel to the hand of cut of the magnetic disk 30 which is a magnetic-recording medium. The cantilever 2 is being fixed to the vertical direction fine adjustment 5 in the condition of having leaned to the front face of a magnetic disk 30. Moreover, optical fiber light interference equipment 61 is fixed to the migration arm 34, and the physical relationship of optical fiber light interference equipment 61 and a cantilever 1 is maintained.

[0054] If the alternating voltage which becomes a probe 2 from a square wave using AC power supply 80 is applied, the displacement current will flow between a probe 2 and a magnetic disk 30. That is, since it has electrostatic capacity between a probe 2 and a magnetic disk 30, forward and negative charge come to exist in a probe 2 by turns, and a current flows in a probe by in-and-out to the probe of the charge by this alternating voltage. In this way, when it flows in a current to a probe in the direction perpendicular to the field of the magnetic disk 30 which is a magnetic-recording medium, the Lorentz force proportional to flux density parallel to a magnetic disk and the current which flows in a probe is perpendicular, and a magnetic disk is [ the longitudinal direction of a magnetic cantilever ] \*\*\*\*\*, parallel direction, i.e., cross direction. Since this Lorentz force will be reversed if the sense to which the current on a probe flows is reversed, a probe will vibrate to radial [ of a disk ] on the frequency of alternating voltage according to this Lorentz force.

[0055] First, when the quadrisection photodiode detected this vibration as vibration of the lateral scattered light and the wave was measured with the digital storage oscilloscope, the probe vibrated on the same frequency as the input voltage frequency of a probe, and reversing the phase to the input voltage of probe vibration, if the direction of longitudinal magnetic recording of the direction of a cantilever of a sample becomes reverse was checked. Furthermore, when the electrical signal of vibration of the needle by the photodiode was inputted into the lock-in amplifier by making input voltage into a reference, it was checked with the sense of the flux density of the longitudinal direction of a cantilever that a lock-in amplifier output is reversed.

[0056] Next, as shown in drawing 8, with the direction of longitudinal magnetic recording, the cantilever has been arranged in the direction of a right angle, and when it had arranged so that the sense of a cantilever and the sense of magnetic flux may be in agreement, vibration of the cross direction of the probe by electrical-potential-difference impression was not observed. The include angle of the magnetic flux of a magnetic-recording medium and a cantilever to make is for \*\*\*\*\* in the die-length direction of a cantilever as the Lorentz force is shown at drawing 8 to having the relation this reason was indicated to be to drawing 1 or drawing 4-5 with the gestalt of the above-mentioned operation since the Lorentz force was the outer product of a current and the flux density direction in this arrangement. Thus, detection of the \*\*\*\*\* Lorentz force was able to be checked between the current of a probe, and the magnetic flux of a magnetic-recording medium.



[0057] Next, the longitudinal magnetic recording of a sine wave was able to rotate the magnetic disk recorded on concentric circular, and was able to detect the phase of the transverse oscillation of a cantilever, and the information corresponding to magnetic recording was able to be read. Moreover, the reading error of an information signal was able to be reduced by setting up the frequency of alternating current near the resonance frequency of the transverse oscillation of a cantilever.

[0058] Next, with the optical fiber light interference equipment 61 which replaced with the above-mentioned quadrisection photodiode and was fixed to the migration arm 34, vibration of the cross direction of a cantilever 1 was able to be detected and it was able to input into the lock-in amplifier 71 through the preamp 70, and selection magnification was able to carry out, was able to use the signal of AC power supply 80 as the reference sign, signal processing of this output was able to carry out with a signal processor 72, the information signal recorded on the magnetic-recording medium 30 was able to reproduce, and a playback output was able to obtain.

[0059] In addition, although a polar change of the longitudinal direction amplitude of a cantilever was detected and this was made into the signal in the above example, the difference of the phase of the sinusoidal voltage currently impressed to the output signal and the piezo electric crystal for forced oscillation of an optical lever can be detected, and this can be made into the signal which detects the Lorentz force. Moreover, although omitted here, as the gestalt 3 of operation described, in order to keep the distance between a probe and a sample constant, the distance between a probe and a sample can be kept constant by the feedback control used with a non-contact atomic force microscope. Moreover, it may bend using resistance change of the piezoresistance object which originated in the longitudinal direction amplitude of a cantilever like the gestalt 3 of operation, an amount may be detected, and this may be used as a signal.

[0060] Although the current which flows to a probe was made into the displacement current with this operation gestalt, the tunnel current which flows when a probe and a sample front face are non-contact is sufficient as the current which flows this probe, and it may be an ohmic current, a shot key current, etc. which flow when a probe and a sample front face contact.

[0061] In passing to a probe the ohmic current which is a current which flows when a sample contacts a probe, a shot key current, etc. as a current which detects a Lorentz force, it considers as the condition that the probe and sample which are located at the tip of a cantilever contacted. After the probe and the sample have contacted, two or more different resonance modes from the resonance mode of a non-contact condition exist in the form corresponding to a cantilever configuration. Therefore, also in the condition that the probe and the sample contacted, detection sensitivity can be raised by passing alternating current with the frequency near such resonance modes to a probe.

[0062] The frequency of the resonance mode in the condition that the probe and the sample contacted as already stated avoids superposition of a surface concavo-convex signal to the Lorentz force signal by being influenced of the magnitude of the force which forces a probe on a sample, and shifting the frequency of alternating current a little from this resonance frequency, since there is an inclination which a surface concavo-convex signal superimposes on a Lorentz force signal if the frequency of the alternating current which detects the Lorentz force is doubled with this resonance frequency.

[0063] The well-known approach can be used about the information record in the information record regenerative apparatus of this operation gestalt. That is, the field of a recording information signal is generated with a coil, and the approach of magnetizing a magnetic-recording medium front face can be used by centralizing the magnetic flux of the signal by the probe of a soft magnetic material.

[0064] (Gestalt 6 of operation) Drawing 9 is drawing having shown typically what supplies a current to a probe from \*\*\*\*\* and a cantilever by the cantilever-probe system used for 1 operation gestalt of this invention, and gave the lateral current component near the tip of a probe. Others detected the vertical magnetic-flux component to the magnetic-recording medium side using the probe-cantilever system shown in drawing 9 by the configuration of the same magnetic recorder and reproducing device as drawing 4 of the gestalt 4 of operation.

[0065] Drawing 9 shows typically the perpendicular magnetic-flux component detection of the

magnetic flux from a magnetic-recording medium by which the vertical magnetic recording was carried out. As shown in drawing 9 , by supplying alternating current at the tip 21 of a probe, a cantilever receives the Lorentz force crosswise and vibrates. Thus, the optical fiber light interference equipment 61 fixed to the migration arm 34 detected vibration of the cross direction of the cantilever 1 of drawing 4 , and it inputted into the lock-in amplifier 71 through the preamp 70, and selection magnification was carried out, having used the signal of AC power supply 80 as the reference sign, signal processing of this output was carried out with the signal processor 72, the Lorentz force detected the perpendicular magnetic flux of the magnetic-recording medium 30, and the playback output of the recorded information signal was obtained.

[0066] This operation gestalt showed the case where the direction of a cantilever was perpendicular to the direction of a track of a magnetic-recording medium, as shown in drawing 9 , but since an outer product with a perpendicular magnetic-flux component exists also when the direction of a cantilever is parallel to the direction of a track, it is possible to reproduce a magnetic-recording signal.

[0067] In addition, in the magnetic recording of high density, since a perpendicular magnetic-flux component increases even if it is not a vertical magnetic recording, in high density magnetic recording, it turns out that especially playback of the magnetic-recording signal by such the Lorentz force is useful.

[0068]

[Effect of the Invention]

[0069] According to the scanning probe microscope which detects a Lorentz force by this invention, distribution of the flux density on the front face of a sample can be investigated, without using the magnetic substance at the tip of a probe. Moreover, a recording-on super-high density magnetic-recording signal is reproducible using this approach.

---

[Translation done.]

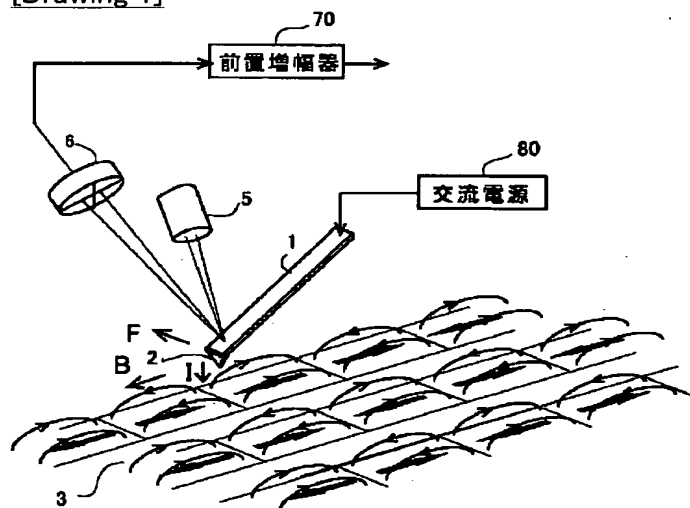
## \* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

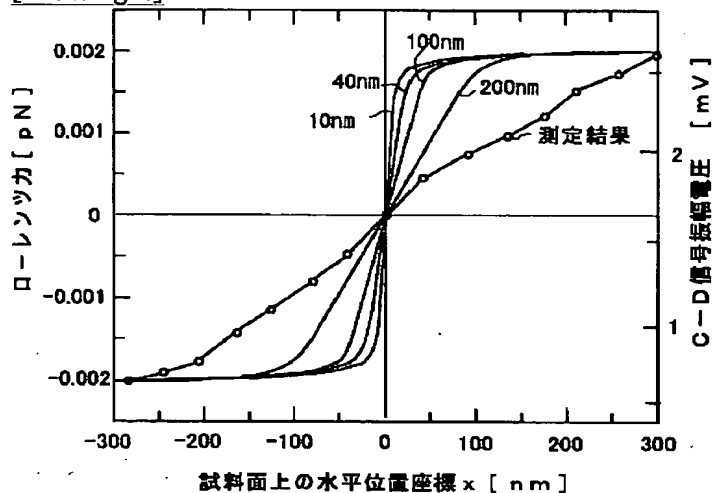
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

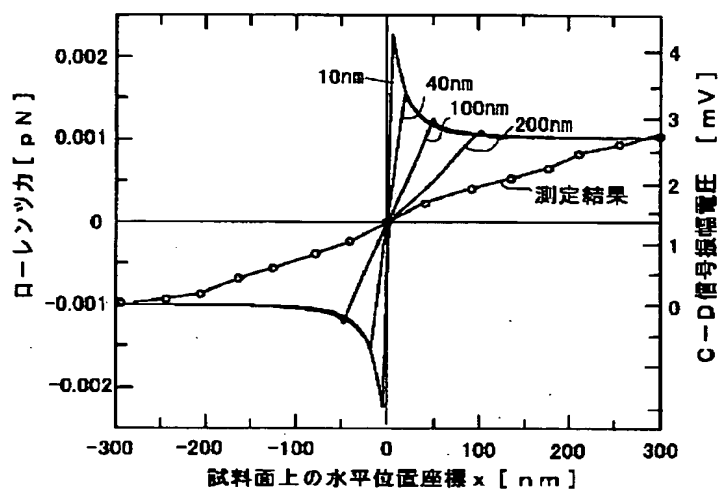
[Drawing 1]



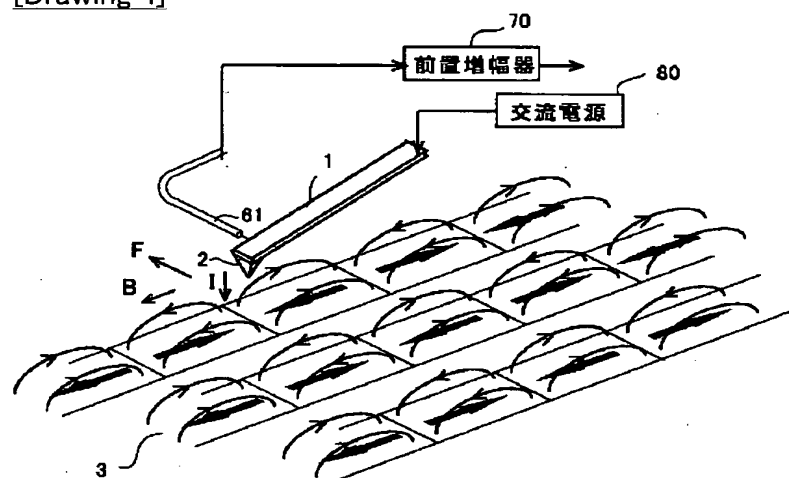
[Drawing 2]



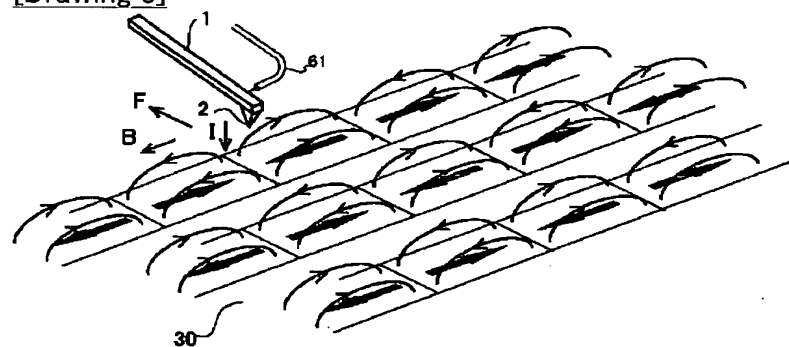
[Drawing 3]



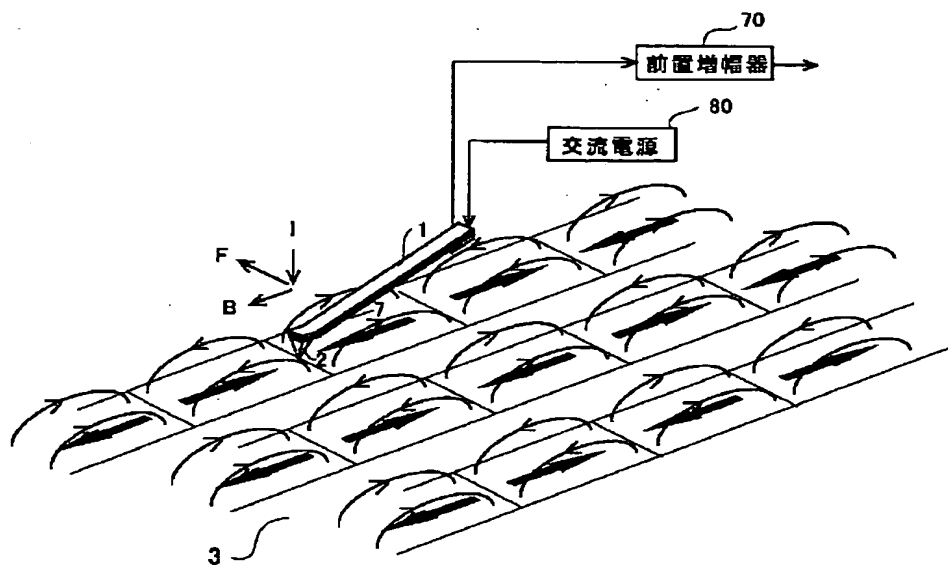
[Drawing 4]



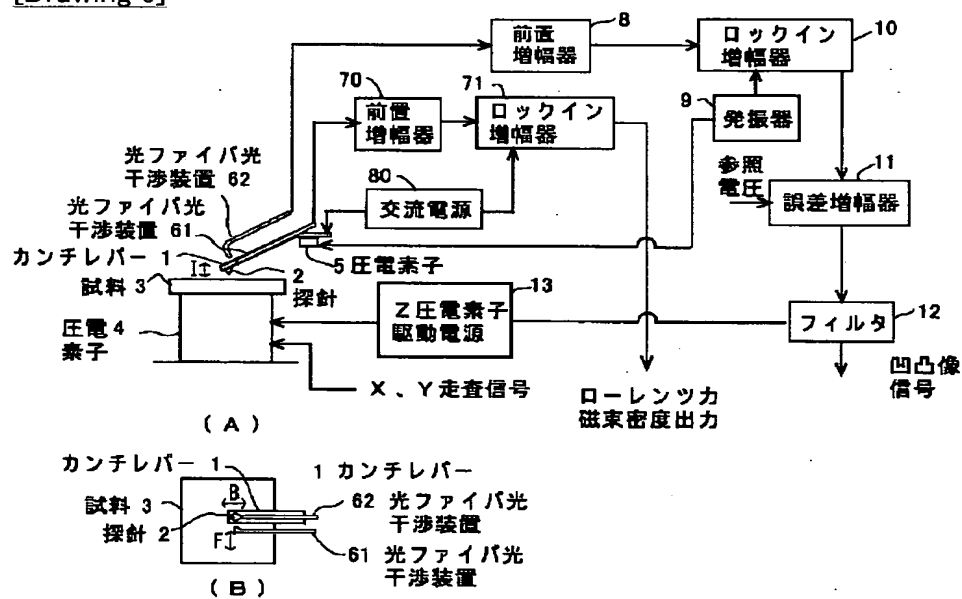
[Drawing 8]



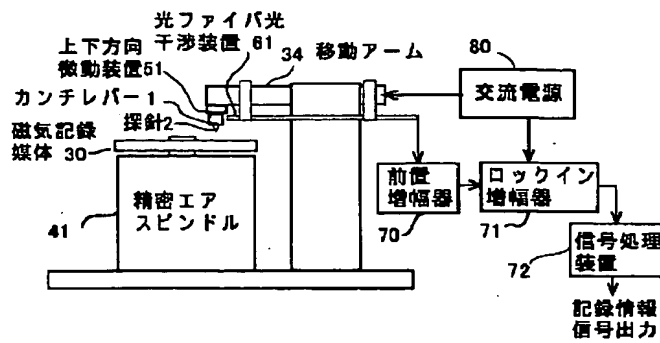
[Drawing 5]



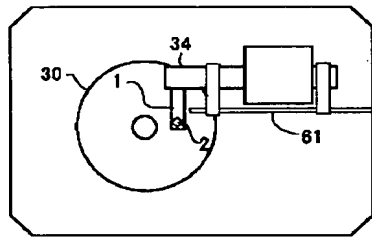
[Drawing 6]



[Drawing 7]

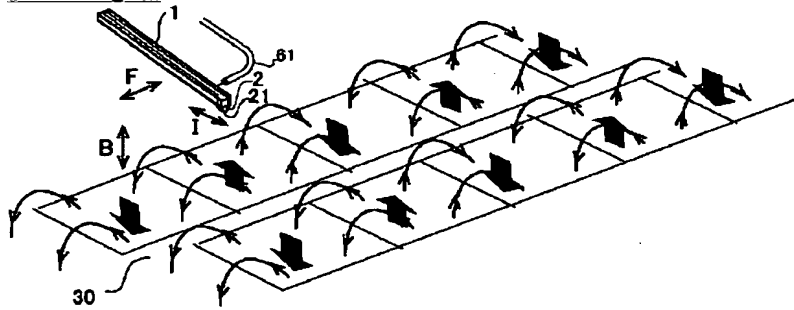


(A)



(B)

[Drawing 9]



[Translation done.]